

Aus der Hals-, Nasen-, Ohren-Universitätsklinik zu Marburg/Lahn  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

# **Über audiokinetische Augenbewegungen**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin  
der hohen Medizinischen Fakultät  
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von  
**Jochen Fend**  
aus Greiz/Thüringen

Marburg 1968

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg



Aus der Hals-, Nasen-, Ohren-Universitätsklinik zu Marburg/Lahn  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

# **Über audiokinetische Augenbewegungen**



Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin  
der hohen Medizinischen Fakultät  
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von  
**Jochen Fend**  
aus Greiz/Thüringen

Marburg 1968

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg



Angenommen von der Medizinischen Fakultät der  
Universität Marburg/Lahn am 29. I. 1968

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. R. Siegert

Referent: Doz. Dr. med. H. Ganz

Correferent: Prof. Dr. med. J. Berendes

## INHALTSVERZEICHNIS

|                                   | Seite |
|-----------------------------------|-------|
| Einleitung und Fragestellung      | 1     |
| Versuchsanordnung                 | 4     |
| Ergebnisse                        | 11    |
| Diskussion der Versuchsergebnisse | 21    |
| Zusammenfassung                   | 29    |
| Literaturverzeichnis              | 31    |



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

## Einleitung und Fragestellung.

=====

Aus der Gruppe der durch besondere Versuchsbedingungen isolierbaren regelmäßig-rhythmischen Augenbewegungen sind bisher nur der optokinetische und vestibuläre Nystagmus eingehender untersucht und für die klinische Diagnostik verwertet worden. Über die Reaktionen auf bewegte Geruchs- und Gehörreize dagegen ist bisher kaum gearbeitet worden.

Einen olfaktokinetischen Kopfnystagmus haben lediglich an Hunden JONGKEES sowie MIANI und PIRAGINE auslösen können. Über durch bewegte Hörreize erzeugbare Augenbewegungen haben unseres Wissens bisher nur DODGE, TONNDORF sowie HENNEBERT gearbeitet.

Als erster hat sich 1923 DODGE mit den Augenbewegungen beschäftigt, die durch kreisende akustische Reize auslösbar sind. Er stellte fest, daß es unter günstigen Versuchsbedingungen zu einer subjektiven Rotationsempfindung und zu nystagmusartigen Augenbewegungen mit Augendeviation in die Drehrichtung kommen kann. Diese Augenbewegungen, insbesondere der Nystagmus, waren jedoch nicht konstant auslösbar. Eine fortlaufende Registrierung der Augenbewegungen wurde, da zu aufwendig, nicht durchgeführt. Die Ursache der beschriebenen Augenbewegungen kann nach DODGE nicht vestibulär sein. Der Nystagmus sei vielmehr von der Bewegungsempfindung abhängig, einer cerebralen Funktion, und wahrscheinlich Ausdruck einer oculären Folgebewegung. Ob es sich um einen echten Reflex handelte, schien zweifelhaft. DODGE beschrieb auch als erster Interferenzerscheinungen mit dem vestibulären Nystagmus.

TONNDORF ließ ein Geräusch kreisen (pro 5 sec. eine Umdrehung) und beobachtete nach 15 bis 20 solcher Kreisbewegungen einen Nystagmus der Versuchsperson entgegen der Drehrichtung, von typischem Drehschwindel begleitet. Auch bei monauraler Reizung durch virtuelle Drehung einer Tonquelle trat nach 4 bis 12 Reizungen ein Nystagmus auf, und zwar zur gleichen Seite. Da auch bei Gehörlosen solche Reaktionen auslösbar waren, hielt TONNDORF die vestibuläre Genese des Nystagmus für erwiesen.

HENNEBERT schließlich löste bei geschlossenen Augen durch eine sich virtuell drehende Tonquelle über Kopfhörer ebenfalls einen Nystagmus aus und beschrieb diesen als dem optokinetischen Nystagmus vergleichbar. Die langsame Komponente sollte der Richtung der Tonbewegung entsprechen. Der Nystagmus sei dem Willen nicht unterworfen und ließe sich nur kurzzeitig - für zwei bis drei Umdrehungen des Tons - durch Fixieren eines Punktes hemmen. Vegetative Reaktionen traten nur gelegentlich bei besonders sensiblen Patienten nach einiger Zeit auf, in Form von Übelkeit. Puls- und Blutdruckänderungen wurden nicht gesehen. Reine Dauertöne gaben nur eine schwache Reaktion, unterbrochene (4 - 5/sec.) eine bessere. Serien von schnell aufeinanderfolgenden clics gaben die konstantesten Effekte. HENNEBERT nannte die von ihm untersuchte akustische Reaktion der Bulbi "audiokinetischen Nystagmus". Er hielt sie für geeignet, zu einer Methodik der objektiven Hörprüfung ausgebaut zu werden und benutzte Nystagmus und entsprechende Körperhaltungsänderungen bereits in der Kinderaudiometrie.

Die spärliche Bearbeitung eines so interessanten Phänomens, die unterschiedliche Deutung durch die einzelnen Autoren sowie die sich abzeichnenden Möglichkeiten einer klinischen Anwendung (objektive Hörprüfung, Prüfung des Richtungsgehörs) sind Grund genug, weitere Versuche durchzuführen.

Als erste Mitteilung einer Serie von Untersuchungen über die durch bewegte akustische Reize auslösbaren Augenbewegungen soll die vorliegende Arbeit zu folgenden Fragen Stellung nehmen:

I) Lassen sich - zunächst unter der Annahme, es handele sich um eine dem optokinetischen Nystagmus verwandte Reaktion - Versuchsbedingungen herstellen, unter denen Augenbewegungen bzw. Nystagmus konstant auslösbar sind ?

Welche Versuchsbedingungen sind dies ?

II) Welche Form und welchen Ablauf zeigen die so ausgelösten Bewegungen der Bulbi ?

III) Handelt es sich um ein weitgehend dem Willen entzogenes Geschehen oder ist die Reaktion willentlich beeinflussbar ? In welchem Maße kann die Augenreaktion gebahnt oder gehemmt werden und wodurch ?

IV) Inwieweit beeinflussen sich vestibulärer und optokinetischer Nystagmus einerseits und audiokinetische Reaktion andererseits gegenseitig ? Bestehen Beziehungen zwischen der Stärke der vestibulären Erregbarkeit und dem Ausmaß der akustischen Reaktion ?

## VERSUCHS ANORDNUNG :

HENNEBERT hat als grundsätzliche Möglichkeiten für den Aufbau der Apparatur genannt :

- a) die reelle Rotation des Hörreizes. Entsprechend benutzte TONNDORF bei seinen ersten Versuchen eine Lärmtrommel, die in völlig verdunkeltem Raum vom Untersucher im Kreis um den Kopf des Probanden geführt wurde. Für exaktere Bestimmungen wäre ein auf ein drehbares Gestell montiertes Mikrophon geeignet.
- b) die virtuelle Rotation des Reizes. HENNEBERT selbst hatte sich eine derartige Apparatur gebaut, bei der die akustischen Reize (Sinustöne oder Serien von clics) über Kopfhörer gegeben wurden. Mit dieser Methode ist allerdings eine monaurale Prüfung nicht möglich.

Wir haben, den apparativen Gegebenheiten an der Klinik folgend, einen dritten Weg gewählt.

- c) Die Beschallung der Versuchsperson während einer vestibulär indifferenten Eigendrehung.

Läßt man im Rahmen der Gleichgewichtsprüfung auf einem der modernen elektrischen Drehstühle (z.B. nach TÖNNIES) bei konstanter Umdrehungsgeschwindigkeit einen stationären akustischen Reiz in Ohrhöhe des Probanden wirksam werden, so wird zunächst einmal die Empfindung der nicht mehr wahrnehmbaren realen Eigenbewegung auf den objektiv ruhenden Außenraum übertragen, d.h. die Person hat den Eindruck einer Bewegung der Schallquelle. Auf dieses Phänomen hat besonders DODGE hingewiesen. Nach WOLETZ wird bei geringerer Drehgeschwindigkeit eine Kreisbewegung des akustischen Reizes empfunden, bei höheren Geschwindigkeiten dagegen mehr die Bahn einer Ellipse oder einer liegenden Acht hinter dem Rücken oder vor der Brust. Allerdings bestehen recht starke individuelle Schwankungen. Weiterhin kommt es bei dieser Versuchsanordnung über die subjektive Bewegungsempfindung des Hörreizes hinaus zu den gleichen Augenbewegungen wie bei

einer Bewegung dieser Reize um den ruhenden Probanden. ADAMS hat für den optokinetischen Nystagmus festgestellt, daß es bei solchen Untersuchungen grundsätzlich gleich ist, ob sich die Reizquelle um die Versuchsperson dreht oder ob die Versuchsperson selbst rotiert. Bei völlig gleichmäßiger Drehung sind vestibuläre Einflüsse weitgehend ausgeschaltet, denn eine solche gleichmäßige Drehung stellt ja keinen Vestibularisreiz dar (JUNG).

Die Untersuchung der audiokinetischen Augenreaktionen auf dem elektrischen Drehstuhl hat gegenüber dem Vorgehen von HENNEBERT den Vorteil, daß

- a) gleichzeitig auch optokinetische (Augenöffnen!) oder vestibuläre Reize (Be- und Entschleunigung) gegeben werden und die Reaktionen hierauf studiert werden können
- b) auch eine monaurale Prüfung durch Abdecken eines Ohres grundsätzlich möglich ist.

#### Apparatur :

Wir verwendeten den elektrischen Drehstuhl nach TÖNNIES, auf dem der Proband mit einer Beschleunigung von  $1^{\circ} / \text{sec.}^2$  schonend auf eine konstante Drehgeschwindigkeit von  $60^{\circ}/\text{sec.}$  gebracht wurde. Nach 1962 durchgeführten Voruntersuchungen (GANZ) scheint das Optimum für solche Versuche zwischen einer Drehgeschwindigkeit von 60 und  $90^{\circ}/\text{sec.}$  zu liegen.

Entsprechend hat GRÜTTNER für den optokinetischen Nystagmus festgestellt, daß die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase bis zu einer Drehgeschwindigkeit von  $90^{\circ}/\text{sec.}$  etwa dieser entspricht, bei noch schnellerer Drehung (des Untersuchungsschirmes) aber immer mehr gegen die objektive Drehung zurückbleibt.

Als Schallquelle diente ein Isophon-Hochleistungslautsprecher (Typ Orchester), der in Kopfhöhe des Probanden in einem Abstand von 70 cm (bezogen auf Kopfmitte) hängend angebracht war. Hörreize waren Tonbandkonserven der Audiometertöne 250,

500, 1000 und 2000 Hz, Dauer je 20 sec., mit Pausendauer zwischen den einzelnen Tönen ebenfalls von je 20 sec.. Die Lautstärke war konstant 60 dB, eingestellt auf die Kopfmittle des Probanden.

Die relativ kurze Beschallungsdauer wurde gewählt, weil wir die Reaktion auf verschiedene Frequenzen vergleichen wollten. Längere Beschallung zeitigte bei den Vorversuchen (GANZ 1962) Ermüdungserscheinungen der Probanden mit negativem Kurvenbild.

Obwohl die Untersuchungen im fensterlosen, im Kellergeschoß gelegenen und schallrückwurffarmen Vestibularisprüfraum der Klinik durchgeführt wurden, wurde ein Störschallgrundpegel von 38 dB gemessen (Geräusch des Drehstuhls und des Nystagmographen, Rauschen des Tonbandes). Falls auf einzelne Störschalldruckspitzen (vorbeifahrende Kraftfahrzeuge, Telephonklingeln, Tonbandeinschalten) Reaktionen im Nystagmogramm auftraten, wurde ein entsprechender Vermerk angebracht.

Eigene Voruntersuchungen (1962 GANZ) hatten ergeben, daß bei Verwendung von nicht unterbrochenen Dauertönen als Hörreizen nur selten eine Reaktion der Augen zu erzielen war. Unterbrochene Sinustöne erwiesen sich als wesentlich effektvoller. Das entspricht den eingangs erwähnten Erfahrungen von HENNEBERT. Wir gaben deshalb kurze Tonreize mit einer Frequenz von 6/sec.. Tonreiz und Unterbrechung waren jeweils gleich lang. MATZKER hat ganz entsprechend im Rahmen seiner Untersuchungen über das Richtungsgehör gefunden, daß bei Prüfung mit Sinustönen praktisch nur dann ein Richtungseindruck entsteht, wenn diese Töne häufig unterbrochen werden. Er benutzte eine Frequenz von 8/sec.

Registrierung. Zur Aufzeichnung der Augenbewegung diente der Elektronystagmograph von TÖNNIES, ein Zweifachschreiber, der auch eine vertikale Ableitung gestattete und so die Abgrenzung von Artefakten (Blinzeln, galvanische Hautreflexe) erleichterte. Die Blickwinkleichung war konstant  $5^{\circ} = 5$  mm. Papiervorschub 1 cm/sec. Einer Umdrehung des Stuhles entsprach also eine Nystagmogrammlänge von 6 cm.

Registriert wurde grundsätzlich bei geschlossenen Augen. Da der Raum absichtlich nicht abgedunkelt worden war, trat bei

versehentlichem oder vom Untersucher gewünschtem Augenöffnen während der Tongabe (bei konstanter Drehung von  $60^{\circ}/\text{sec.}$ ) sofort ein optokinetischer Nystagmus auf.

Zusätzliche Untersuchungen. Bei jedem Patienten wurde ein (bis auf die Kurzdrehung) vollständiges Elektronystagmogramm angefertigt, wie in der otoneurologischen Diagnostik üblich. Wir konnten so einerseits unerwünschte pathologische Fälle ausschließen, andererseits auch das Verhalten des vestibulären, experimentellen Nystagmus sowie des optokinetischen Nystagmus studieren und eventuelle Interferenzerscheinungen erkennen. Im einzelnen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt :

- a. Suche nach Spontannystagmus bei geschlossenen Augen.
- b. Nystagmusprüfung bei offenen Augen.
- c. Pendelversuch
- d. Prüfung des optokinetischen Nystagmus mit laufenden Lichtstreifen, horizontal mit  $60$  und  $120^{\circ}/\text{sec.}$  vertikal mit  $60^{\circ}/\text{sec.}$
- e. Langdrehung. Während des Beschleunigens und nach Umschalten auf konstante Drehgeschwindigkeit ( $60^{\circ}/\text{sec.}$ ) Registrierung des perrotatorischen Nystagmus. Während der konstanten Drehung, möglichst unter Abwarten eines Aufhörens des perrotatorischen vestibulären Nystagmus, einmaliges Abspielen des Tonbandes mit den unterbrochenen Tönen von 250, 500, 1000 und 2000 Hz.

Anschließend Kontrolle des optokinetischen Nystagmus während der Drehung durch Öffnenlassen der Augen.

Abschließend Stop des Drehstuhles, Registrierung des postrotatorischen Nystagmus, I. und II. Phase.

Versuchspersonen : Untersucht wurden insgesamt 80 normalhörige Probanden beiderlei Geschlechtes im Alter von 12 bis 70 Jahren. Der größte Teil der Versuchspersonen stammte aus den Altersgruppen von 16 bis 30 Jahren (46 Personen). Es handelte sich zum Teil um gesunde Freiwillige, zum Teil um

leichtkranke stationäre Patienten der Klinik. Es wurde darauf geachtet, daß Probanden aller Bevölkerungsschichten und Intelligenzgrade teilnahmen. Um die nach früherer Erfahrung rasch auftretenden Ermüdungserscheinungen während des Versuchs etwas hintanzuhalten, wurden die Untersuchungen tagsüber, meist mittags vorgenommen.

Zwei große Untersuchungsserien wurden durchgeführt :

#### SERIE I.

=====

Bei diesen Versuchen bemühten wir uns, die Bedingungen denen bei der Prüfung des optokinetischen Nystagmus möglichst anzugleichen.

Die schon mehrfach zitierte Voruntersuchungsserie im Jahre 1962 (GANZ) mit fast 100 Versuchen hatte ja ergeben, daß die Augenreaktionen zumindest bei einem Teil der Probanden im Ablauf dem optokinetischen Nystagmus bei pendelnder Reizung (siehe TRINCKER, SIEBER und BARTUAL) entsprachen. Auch HENNEBERT betonte die Verwandtschaft des audiokinetischen und optokinetischen Nystagmus.

Die insgesamt 50 Probanden wurden deshalb gebeten, die sich bewegenden Töne mit den geschlossenen Augen zu verfolgen.

Auch bei der optokinetischen Prüfung fordert man ja die Probanden auf, die vorbeiziehenden Lichtstreifen auf dem Schirm zu fixieren, um eine möglichst starke Reaktion zu erhalten. Uns kam es ebenfalls zunächst darauf an, Versuchsbedingungen herzustellen, bei denen die (bzw. eine) audiokinetische Reaktion möglichst konstant und deutlich auftrat.

Bei 31 Personen erfolgte die Untersuchung nur während der Rechts- oder Linksdrehung, bei 19 Probanden dagegen während beider Drehungen, damit eventuelle Seitenunterschiede der Reaktion erkannt werden konnten.

Bei der Auswertung interessierten uns folgende Kriterien:

- 1) die subjektiven Empfindungen hinsichtlich der Bewegungsart der Schallreize;
- 2) die Frage einer möglichen Beziehung zwischen der Qualität der subjektiven Empfindung (Kreis, Ellipse, Pendeln, keine Ortung möglich) einerseits sowie Auftreten, Form und Stärke objektiv registrierbarer Augenbewegungen andererseits;
- 3) eine genauere Analyse der registrierbaren Reaktionen auf die Schallreize;
- 4) mögliche Beziehungen irgendeiner Art zwischen der Stärke von vestibulärer, optokinetischer und audiokinetischer Reaktion sowie etwaige Interferenzerscheinungen zwischen einem noch bestehenden perrotatorischen Nystagmus und den akustisch ausgelösten Augenbewegungen, z.B. im Sinne eines Richtungsüberwiegens letzterer in der Richtung des perrotatorischen Nystagmus.

## SERIE II.

=====

Hierbei sollte versucht werden festzustellen, inwieweit der bewegte akustische Reiz allein - ohne aktive Mitarbeit der Versuchsperson - imstande ist, eine Bewegung der Bulbi auszulösen. Die Ergebnisse derartiger Versuche sind wichtig

- a. für die Frage der von HENNEBERT bejahten Verwendbarkeit für objektive Höruntersuchungen
- b. für die Stellungnahme zu TONNDORF's Theorie einer vestibulären akustischen Reizantwort.

Bei sämtlichen 30 normalhörigen Probanden wurde bei unbedeckten Ohren sowohl eine Rechtsdrehung als auch eine Linksdrehung durchgeführt. Wir begannen bei der einen Hälfte der Freiwilligen mit der Rechtsdrehung, bei der anderen mit der Drehung nach links (Seitenunterschiede!).

Drehung I : Keinerlei Hinweis auf Art und Ziel der geplanten Untersuchung. Die Probanden waren auf die akustische Stimulation nicht vorbereitet.

Drehung II: Allgemein gehaltener Hinweis auf die Töne :  
" Achten Sie einmal darauf, wie sich Ihrer Meinung nach die Töne bewegen". Keine Aufforderung zum Fixieren oder Verfolgen.

Die Auswertung erfolgte nach den gleichen Gesichtspunkten wie bei Serie I.

## Ergebnisse :

Serie I (Aufforderung zum Fixieren der bewegten Töne,  
===== 50 Probanden)

### Zu 1). Subjektive Empfindung

Der Versuchsanordnung entsprechend wurde weit überwiegend (41 Versuchspersonen) eine Kreisbewegung der Töne um den Kopf empfunden. Ein Proband gab die Kreisbewegung mit Bergen und Tälern an, zwei weiteren schien der Kreis frontal vor dem Kopf zu liegen.

Der letzte Ton (2000 Hz) wurde mehrfach anders geortet als die drei vorhergehenden. Einmal schien er vor dem Kopf zu kreisen, dreimal vor dem Kopf zu pendeln, wogegen die ersten drei Töne bei diesen Versuchen als Kreisbewegung um den Kopf geortet wurden. Es scheint also eine gewisse Abhängigkeit der subjektiven Bewegungsempfindung außer von der Drehgeschwindigkeit (WOLETZ) auch von der Tonhöhe zu bestehen.

MATZKER hat entsprechend bei seinen Untersuchungen über das Richtungsgehör festgestellt, daß die Ortung eines Tons desto schlechter gelingt, je höher der Ton ist.

Als atypische Empfindungen für alle Töne sind zu nennen :  
elliptische Bewegung um den Kopf      3 mal  
Pendeln vor/hinter dem Kopf            4 mal  
keine exakten Angaben                   2 mal.

### Zu 2) Verhältnis subjektive Bewegungsempfindung zu objektiver Reaktion.

Man könnte annehmen, daß die besten Kurven bei solchen Probanden gewonnen worden wären, die eine klare Kreisbewegung erkannt hatten, und daß eine Reaktion bei den Versuchspersonen ohne exakte Angaben gefehlt hätte. Das war aber nicht der Fall.

Bei den beiden Versuchen ohne exakte Angabe zur Tonbewegung war die ENG-Kurve zwar einmal - von einer einzigen schnellen

Spähbewegung beim Einsetzen des ersten Tons abgesehen - völlig frei von audiokinetischen Reaktionen, in dem anderen Fall jedoch waren typische Augenbewegungen vorhanden. Unter den Kurven von Probanden mit Kreisempfindung war andererseits auch eine negative. Die subjektive Pendelempfindung schließlich war immer mit positiven und typischen audiokinetischen Reaktionen verbunden.

Bei solchen Versuchspersonen, bei denen sich die Bewegungsempfindung des vierten Tons von der der ersten drei Töne unterschied, war keine Änderung der Kurvenform feststellbar.

### Zu 3) Analyse der audiokinetischen Augenbewegungen

Die während der akustischen Stimulation beobachteten Augenbewegungen sind wie folgt zu charakterisieren :

- a. Große Augendeviationen im Sinne von Folgebewegungen der Bulbi. Diese Deviationen verliefen der Umdrehungsgeschwindigkeit in der Regel streng synchron, d.h. einer über 3 sec. hin ablaufenden Deviation nach der einen Seite folgte eine ebensolche nach der Gegenseite (Kurventyp Sinusschwingung). Traten solche Deviationen auf, so waren sie in der Regel während der gesamten Dauer des betreffenden Tones nachweisbar (Abb. V b).
- b. Nystagmusschläge mit rascher (Spähbewegung wie beim optokinetischen Nystagmus) und langsamer Komponente, sowie periodisch wechselnder Schlagrichtung. Auch dieser Nystagmus hielt sich im Ablauf insofern an die Geschwindigkeit der Umdrehung, als die rasche Komponente abwechselnd 3 sec. nach der einen und die gleiche Zeit nach der anderen Seite schlug. In 7 Fällen war während der akustischen Reize nur ein solcher richtungswechselnder Nystagmus ableitbar (Abb. I; b, c). Meist (in 37 Fällen) war er jedoch mit Augendeviationen vergesellschaftet (Abb. Ia, III, IV). Die rasche Komponente schlug dabei fast immer in Richtung der Augendeviation. 4 mal waren Augendeviationen ohne einen solchen Nystagmus nachweisbar,

bzw. man konnte nur einzelne Schläge registrieren (Abb. V b). Gelegentlich wechselten Phasen von Deviationen mit und ohne Nystagmus beim gleichen Probanden ab.

c. Atypische Reaktionen. In dieser Gruppe sind zusammenzufassen :

aa. atypische Augenbewegungen auf die Tonreize.

Gelegentlich traten beim Einsetzen des ersten Tons bzw. auch nach Einschalten des Tonbandes (RAUSCHEN!) kurzzeitig unregelmäßige schnelle Augenbewegungen auf, die wir als Suchbewegungen deuteten, bevor die Bewegung des Tons richtig erkannt war. In Einzelfällen war ein solches Verhalten auch mit dem Einsetzen des letzten (2000 Hz) Tons zu beobachten. Ein Proband, bei dem der letzte Ton nur solche unregelmäßigen Suchbewegungen ausgelöst hatte, gab an, keine Bewegung des akustischen Reizes mehr erkannt zu haben (Abb. II b).

bb. Im Sinne der Ziffern a. und b. typische Reaktionen zeitlich außerhalb der Tongabe.

Derartige Augenbewegungen, und zwar der Drehgeschwindigkeit synchrone Augendeviationen mit richtungswechselndem Nystagmus, wurden 10 mal beobachtet. Zum Teil kamen diese Effekte dadurch zustande, daß die Probanden Nebengeräusche von Seiten des Drehstuhles bzw. des Nystagmographen für die Prüfgeräusche gehalten und verfolgt hatten (Abb. IV). Auf den entsprechenden Hinweis beruhigte sich die Kurve dann sofort wieder. Teilweise waren Suchbewegungen und exakte Folgebewegungen der Bulbi mit Nystagmus aber auch während der Pausen zwischen den Prüftönen nachweisbar, in einem Falle sogar ausschließlich in den Pausen, während auf die Prüftöne nicht reagiert wurde. Das deutlich hörbare Tonbandrauschen war für diesen Patienten offensichtlich "interessanter" gewesen als die eigentlichen Prüftöne.

d. Absolut negativ verlief nur ein einziger Versuch. Hier waren weder geregelte noch ungeregelte Augenbewegungen während der Beschallung registrierbar. Die gewählte Versuchsanordnung scheint also geeignet, fast regelmäßig eine audiokinetische Bewegung der Bulbi mit Nystagmus auszulösen.

#### Zu 4) Beziehungen zwischen der vestibulären, optokinetischen und audiokinetischen Reaktion der Bulbi

Vergleiche von hinsichtlich Entstehung und Ablauf so verschiedenartigen Augenbewegungen müssen mangels geeigneter Kriterien immer problematisch bleiben.

Die einzige auf Grund unserer Kurven mögliche Aussage hinsichtlich der Beziehungen zwischen vestibulärer und audiokinetischer Reaktion ist, daß eine Regelbeziehung zwischen Beiden :

|                                                              |
|--------------------------------------------------------------|
| kräftige vestibuläre Erregbarkeit = kräftige audiokinetische |
| (per- und postrotatorisch)                      Reaktion     |

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| schwache bzw. fehlende vestibuläre Erregbarkeit = schwache               |
| (per- und postrotatorisch)                      bzw. fehlende audiokine- |
| tische Reaktion                                                          |

nicht zu erkennen war. Eine derartige Übereinstimmung fand sich nur bei 28 von 50 Versuchen, eine im geschilderten Sinne deutliche Divergenz in 12 Fällen.

Ein Vergleich des optokinetischen Nystagmus, insbesondere der während konstanter Drehung durch Augenöffnen und Fixieren der Umgebung erhaltenen Kurvenbilder, mit der audiokinetischen Reaktion zeigt, daß der optokinetische Nystagmus offensichtlich konstanter auslösbar ist und einen gleichmäßigeren Ablauf der einzelnen Schläge bietet als der audiokinetische.

Ein grundsätzlicher Unterschied ist der biphasische Verlauf der akustisch ausgelösten Augenbewegungen im Gegensatz zu den

bei der üblichen Versuchsanordnung zur Prüfung der Optokinetik stets monophasisch in die gleiche Richtung gehenden Nystagmusschlägen.

Abbildung III stellt die audiokinetische, optokinetische und vestibuläre Reaktion des gleichen Probanden nebeneinander.

Interferenzerscheinungen zwischen einem perrotatorischen vestibulären Nystagmus und der akustischen Reaktion waren nur selten zu beobachten. Sie äußerten sich in einem geringen Überwiegen der Zahl der Nystagmusschläge während der akustischen Stimulation in Richtung des perrotatorischen Nystagmus. In einem Falle sahen wir ein solches Seitenüberwiegen bei noch registrierbarem perrotatorischem Nystagmus und dreimal ohne daß noch ein solcher perrotatorischer Nystagmus ableitbar war (Abb. VI a). Die zeitliche Kongruenz im Ablauf der audiokinetischen Gesamtreaktion zur Umdrehungsgeschwindigkeit wurde durch die Interferenzerscheinungen nie gestört. JUNG sowie JUNG und MITTERMAIER haben Interferenzerscheinungen auch zwischen vestibulärem und optokinetischem Nystagmus beschrieben im Sinne einer algebraischen Summierung der langsamen Komponenten.

Auf Grund unserer mehr zufälligen Einzelbeobachtungen können wir natürlich zunächst keine exakte Aussage darüber machen, ob auch bei den audiokinetischen Augenbewegungen eine solche algebraische Summierung (bzw. Subtraktion) der langsamen Komponenten möglich ist. Das werden systematische Untersuchungen mit Beschallung während der Be- und Entschleunigung zeigen müssen.

Serie II (Beschallung von normalhörigen Probanden im freien  
===== Schallfeld, zunächst ohne vorherigen Hinweis auf die  
Prüftöne).

#### Zu 1) Subjektive Empfindungen

Auch hier wurde weit überwiegend eine Kreisbewegung der Prüftöne angegeben (27 von 30 Versuchen), und auch hier wurde die Bewegung des 2000-Hz-Tons mehrfach (viermal) nicht wie die der übrigen als Kreisbewegung empfunden, sondern als Pendeln oder elliptische Bewegung.

## Zu 2) Der Vergleich subjektive Empfindung : Kurvenbild

hatte im Prinzip das gleiche Ergebnis wie bei Serie I. Das heißt, der Ablauf der audiokinetischen Augenbewegungen (Nystagmus und Deviationen) zeigte keine der unterschiedlichen subjektiven Bewegungsempfindung anlastbaren Varianten. Die Reaktion unterschied sich bei zwei Probanden, die ein Pendeln der Töne bzw. ein Lauter- und Leiserwerden bemerkt hatten, im Prinzip nicht von der der zahlreichen Versuchspersonen mit Kreiseempfindung. Unterschiedliche subjektive Empfindungen bei den einzelnen Tönen fanden ebenfalls keinen Niederschlag im Reaktionsablauf, soweit Reaktionen bei dieser Serie überhaupt registriert werden konnten. Einer der Probanden, der keine exakte Angabe über die Art der Bewegung der Töne machen konnte, zeigte überhaupt keine Augenbewegungen. Das besagt jedoch wenig, da bei diesen Versuchen eine ganze Reihe von negativen Kurven auch bei richtiger Ortung der Prüftöne gewonnen wurde.

## Zu 3) Analyse der audiokinetischen Augenbewegungen.

Die bei Serie I herausgestellten Typen waren im Prinzip wieder zu beobachten. Als wesentliche Unterschiede stellten sich jedoch heraus :

- a. Die Augenbewegungen waren fast stets deutlich schwächer ausgeprägt. Insbesondere fehlten Augendeviationen während der ersten Drehung fast stets.
- b. Die Zahl von völlig negativen nystagmographischen Kurven während der Beschallung lag wesentlich höher (6 von 30 bei der ersten Drehung völlig ohne Vorbereitung, 7 von 30 bei der zweiten Drehung mit allgemeinem Hinweis ).

Für die Auswertung der Kurven schien uns von Bedeutung, ob es sich um ein sonst ruhiges Kurvenbild handelte, oder ob das Nystagmogramm während der konstanten Drehung durch Blinzeln und Schwitzen des Patienten (Augendeviationen durch galvanische Hautreflexe), versehentliches Augenöffnen, Reden,

Bewegen des nur leicht fixierten Kopfes, sowie akustische Reaktionen auf unerwünschte Reize (Drehstuhlgeräusch, vorbeifahrende Autos u.a.) gestört war. Besonders vegetativ labile Probanden produzierten nicht selten zahlreiche Artefakte, allerdings auf der anderen Seite auch öfters starke audiokinetische Augenbewegungen. Bei im ganzen ruhigem Kurvenbild konnten schon verhältnismäßig schwache Nystagmusschläge als positive Reaktion gerechnet werden (Abb. I c), sofern sie in ihrem Richtungswechsel zeitliche Kongruenz mit der Umdrehungsgeschwindigkeit zeigten. Solche feinen Ausschläge schienen uns dann sogar sicherer, als viel gröbere bei artefaktübersäter Ableitung.

#### I) Prüfung ohne vorherigen Hinweis auf die Töne.

Unter diesen Versuchsbedingungen wurde ein für die Dauer der Prüftöne bestehender, die Richtung wechselnder Nystagmus mit Augendeviationen, also die typische Reaktion von Serie I der Untersuchungen, nur in 6 von 30 Fällen registriert. Vier dieser Probanden gaben an, den Tönen bewußt mit den Augen gefolgt zu sein, ohne daß sie dazu angehalten worden waren. Die gleiche Angabe wurde aber auch von 7 Versuchspersonen gemacht, die keine Augendeviationen erkennen ließen. Einmal entsprach die Angabe, nur dem ersten Ton nachgesehen zu haben, insofern dem objektiven Befund, als beim Einsetzen dieses Tons unregelmäßige Suchbewegungen der Bulbi registriert wurden, während die weiteren Töne überhaupt keine Reaktion mehr auslösten (Abb. II a).

5 Versuche hatten ein völlig negatives Ergebnis. Ein solches negatives Ergebnis kann Ausdruck von Ermüdung und fehlender Konzentration sein. Wir fanden die für Schlaf typischen kleinen Pendeldeviationen (JUNG) bei 4 Probanden, die entweder gar keine oder nur ganz schwache audiokinetische Augenbewegungen zeigten (Abb. V a).

Tabelle I zeigt die Häufigkeit der einzelnen Reaktionsarten.

TABELLE I : Augenbewegungen, ausgelöst durch rotierende akustische Reize im freien Schallfeld.

|                               |                                                                                |    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| *                             | Nystagmus und Deviationen, durchgehend für die Dauer der Beschallung           | 5  |
| **                            | Nur Nystagmus, durchgehend                                                     | 4  |
| ***                           | Nystagmus und Deviationen, nicht durchgehend                                   | 1  |
| ****                          | Nur Nystagmus, nicht durchgehend, oder im Richtungswechsel nicht ganz synchron | 11 |
| ***                           | Nur einzelne schnelle Spähbewegungen beim Ein- oder Aussetzen eines Tons       | 3  |
| ***                           | Aufhören einer vorher bestehenden Augenunruhe                                  | 1  |
| ****                          | Keine auf die Beschallung beziehbaren Augenbewegungen                          | 5  |
| <hr/> Gesamtzahl der Versuche |                                                                                | 30 |

Die verhältnismäßig große Anzahl negativer oder nur andeutungsweise positiver Versuche (siehe \*\*\* und \*\*\*) zeigt, daß die rotierende Beschallung allein offensichtlich einen recht schwachen Reiz darstellt. Um regelmäßig Augenbewegungen zu erhalten, müßte man eine Bahnung durch aktive Hinwendung zum akustischen Ereignis versuchen.

Neben Ermüdung und Desinteresse kann offensichtlich die autosuggestive Selbstablenkung die reaktiven Augenbewegungen völlig unterdrücken. Eine unserer Versuchspersonen, selbst ANO-Arzt und in den Sinn der Untersuchung eingeweiht, lenkte sich auf diese Weise ohne Wissen des Untersuchers ab, und gab sein Experiment erst zu, als dieser verwundert die völlig gerade Nystagmogrammkurve vorzeigte.

Entsprechend ist für den optokinetischen Nystagmus auch bekannt, daß man ihn weitgehend unterdrücken kann, und zwar durch Unaufmerksamkeit, optische Vorstellung eines stehenden Objektes oder willkürliche Fixation eines unbewegten Gegenstandes (JUNG und MITTERMAIER).

Für objektive Höruntersuchungen scheint der audiokinetische Nystagmus also nicht geeignet, da man hierbei vorwiegend mit ablehnenden Patienten rechnen muß (Gutachten!).

## II) Prüfung mit vorherigem Hinweis auf die Töne

TABELLE II : Augenbewegungen, ausgelöst durch rotierende Tonreize, vorher Hinweis auf die Töne.

|           |                                                       |    |
|-----------|-------------------------------------------------------|----|
| *         | Nystagmus und Deviationen, synchron                   | 6  |
| **        | Nystagmus, synchrone Richtungsänderung                | 14 |
| ***       | Nystagmus, nicht synchron                             | 2  |
| ****      | praktisch nur Deviationen                             | 1  |
| ***<br>** | Keine auf die Beschallung beziehbaren Augenbewegungen | 7  |

---

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Gesamtzahl der Versuche | 30 |
|-------------------------|----|

Außer den in der Tabelle angeführten mehr oder weniger typischen Reaktionen der Augen kam es in 10 Fällen außerdem zu akustischen Nebeneffekten (Tonbandeinschalten, Telephonklingeln, Tonbandrauschen, Ansprechen durch den Untersucher (Abb. IV)). Durch den Versuch, eine Hinwendung des Probanden zum akustischen Ereignis mittels eines allgemein gehaltenen Hinweises zu erreichen, ist es also nicht gelungen, die Zahl der positiven Reaktionen zu erhöhen. Überraschenderweise waren sogar die Nystagmusausschläge und Deviationen im ganzen gesehen eher schwächer als bei der Vorserie ohne Hinweis auf die Töne. Bei einem Teil der Probanden wurden nur bei einzelnen Tönen typische Augenbewegungen registriert, bei anderen nur einzelne Spähbewegungen. Von den sieben Versuchspersonen ohne jede Reaktion hatten vier sogar in der Vorserie ein positives Ergebnis gehabt !

Wir können uns den schlechten Ausfall dieser dritten Versuchsserie nur so erklären, daß die Wiederholung der Prüftöne in der gleichen Sitzung ganz einfach für die Probanden

"uninteressant" und langweilig wirkte, zumal sie über die Art der Bewegung der Töne, über die sie befragt werden sollten, meist schon vom Vorversuch her im klaren waren.

Zu 4) Beziehungen zwischen der vestibulären, optokinetischen und audiokinetischen Reaktion, Interferenzerscheinungen.

In 16 von 30 Versuchen fand sich eine Übereinstimmung zwischen Stärke der vestibulären Erregbarkeit und Ausprägung der audiokinetischen Reaktion. Diese Zahl entspricht anteilmäßig etwa dem Befund in Versuchsserie I ( $16/30 \approx 28/50$ ). Interferenzerscheinungen zwischen perrotatorischem Nystagmus und audiokinetischer Reaktion im Sinne einer stärkeren Ausprägung des Nystagmus während der akustischen Reizung in Richtung der perrotatorischen Reaktion waren insgesamt 6 mal zu registrieren, davon einmal bei schon abgeklungenem perrotatorischem Augenzucken.

Diskussion der Versuchsergebnisse  
=====

Durch Beschallung normalhöriger Versuchspersonen mit stark überschwelligen unterbrochenen Sinustönen - während einer vestibulär indifferenten Eigendrehung und bei geschlossenen Augen - ließ sich fast regelmäßig die Empfindung einer Rotation der Schallquelle erzeugen. Diese Erscheinung der Übertragung einer realen, nicht wahrnehmbaren Eigendrehung auf den objektiv ruhenden Außenraum ist als DODGE - Phänomen lange bekannt.

Gleichzeitig waren aber elektronystagmographisch auch Augenbewegungen ableitbar, die nach Form und Ablauf als durch die kreisenden akustischen Reize bedingt gelten mußten.

Die von uns ausgelösten reaktiven Bewegungen der Bulbi waren am ehesten mit den Beobachtungen von DODGE in Einklang zu bringen; sie unterschieden sich aber sehr wesentlich von denen, die TONNDORF und - abweichend - HIENNEBERT beschrieben haben. So war bei unseren Versuchen der von den beiden letztgenannten Autoren als einziges akustisch ausgelöstes Bewegungsphänomen der Augen beschriebene Nystagmus nur eine Komponente der reaktiven Augenbewegungen, wenn auch deren interessanteste.

Bei Vergleich unserer Kurven mit den Ergebnissen von TONNDORF erheben sich Zweifel, ob wir es hier überhaupt mit der gleichen Reaktion zu tun haben.

|                   | TONNDORF                         | GANZ u. FEND         |
|-------------------|----------------------------------|----------------------|
| Latenz            | 15 bis 20 Umdrehungen            | keine                |
| Schwindel         | ja                               | nein                 |
| Nystagmusrichtung | gegen die Drehung                | periodisch wechselnd |
| Nystagmusdauer    | über die Beschallungszeit hinaus | nur Beschallungszeit |
| Vermutete Genese  | vestibulär                       | nicht vestibulär     |

In einer späteren Arbeit soll versucht werden, durch Dauerbeschallung die TONNDORF'schen Befunde zu reproduzieren.

Die Diskussion der Frage von akustischen Vestibularisreaktionen überhaupt (TULLIO-Phänomen u.a.) soll ebenfalls dieser Arbeit vorbehalten bleiben.

Wir haben nach einigen (negativ ausgefallenen) Vorversuchen auf eine Dauerbeschallung verzichtet, da hierbei beim Probanden sehr rasch Ermüdungserscheinungen beobachtet wurden, was die vorgesehene Reizung auch mit anderen Tonfrequenzen unnötig mit negativen Resultaten belastet hätte.

Die von uns abgeleiteten Augenbewegungen lassen sich im einzelnen beschreiben als :

- 1) große sinusförmige assoziierte Deviationen der Bulbi, im Sinne von Folgebewegungen
- 2) Nystagmusschläge mit primärer rascher Komponente, entweder in Form einzelner Rucke beim Ein- oder Aussetzen des Prüftons, oder aber - häufiger - als für die Dauer der Beschallung durchgehender Nystagmus
- 3) kurzes uncharakteristisches Augenzittern, Gegenrucke oder Aufhören einer vor der Stimulation bestehenden Augenunruhe, sämtlich wohl als Zeichen erhöhter Aufmerksamkeit zu verstehen.

Die Augendeviationen waren meist - nicht immer - Ausdruck einer bewußten Verfolgung der kreisenden Töne.

Der Nystagmus mit Ausnahme der als Spähbewegungen dem Ton entgegen anzusehenden einzelnen groben Rucke zu Beginn oder am Schluß eines Tons dürfte dagegen denjenigen Teil der Reaktion repräsentieren, der dem Bewußtsein entzogen ist. Entsprechend war bei solchen Versuchspersonen, die in die Art der Untersuchung vorher nicht eingeführt worden waren, vorwiegend nur ein Nystagmus registrierbar. Bei den Versuchen mit Aufforderung zur aktiven "Blickwendung" (bei geschlossenen Augen) dagegen schienen Nystagmusschläge bzw. Rucke fast immer auf große Augendeviationen gleichsam aufgepfropft.

Die schnelle Phase des Nystagmus schlug fast ausschließlich in die Richtung der Deviation! Es war also nicht so, daß die rasche Phase im Sinne einer Spähbewegung wie beim optokinetischen Nystagmus dem Tonreiz entgegeneilte, um einer langsamen Folgebewegung Platz zu machen.

Überraschend schien uns zunächst die Tatsache, daß der Nystagmus periodisch seine Richtung wechselte, und zwar ziemlich streng jeweils nach einer halben Drehung. Diese Erscheinung ist bisher nicht beschrieben worden. Auch für den optokinetischen Nystagmus als am ehesten vergleichbarem Phänomen ist - jedenfalls bei der üblichen Versuchsanordnung mit rotierenden Lichtstreifen - ein derartiger Richtungswechsel nicht bekannt.

Die Erklärung liegt in der Anordnung der Rezeptoren im Schädel. Während die Augen beim Menschen gleich gerichtet (unipolar) eingebaut sind, liegen die Ohren gegensinnig (bipolar) im Schädel. Das bedeutet : ein rotierender Lichtreiz stimuliert beide Augen immer gleichsinnig. Die Ohren dagegen werden vom Intensitätsmaximum des kreisenden akustischen Reizes nacheinander erreicht, mit einer Phasenverschiebung von  $180^{\circ}$  (Siehe auch v.HORNBOSTEL). Der Ton wandert beispielsweise zunächst von rechts nach links vor dem Probanden vorbei = Folgebewegung von rechts nach links, Nystagmus nach links. Dann führt er hinter dem Probanden die gleiche Bewegung in umgekehrter Richtung aus, von links nach rechts = Folgebewegung von links nach rechts, Nystagmus nach rechts. Die reale Drehung wirkt also wie eine Pendelbewegung. Der Mulldurchgang dieser Bewegung und damit der nystagmographischen Kurve liegt in der Sagittalebene.

Entsprechende Versuchsbedingungen lassen sich auch für die Optokinetik herstellen, und zwar durch pendelnde, sinusförmige Reizung. TRICKER, SIEBER und BARTUAL haben auf diese Weise ganz ähnliche nystagmographische Kurven erhalten wie wir mit den kreisenden akustischen Reizen. Sie fanden gleitende sinusförmige Augendeviationen im Sinne von Folgebewegungen,

die bei aktivem Verfolgen der pendelnden Lichtstreifen praktisch ruckfrei waren. Beim Blick geradeaus dagegen waren diese gleitenden Augendeviationen von Lallreihen Nystagmusschlägen unterbrochen, die den Ablauf der Deviation nicht beeinflussten. Bei langsamem Pendeln der Reize (0,109 Hz) waren die Rucke noch vorwiegend der Richtung der Deviation entgegengerichtet, wie wir es von der einphasischen optokinetischen Reizung gewöhnt sind (Spähbewegungen dem Reiz entgegen). Bei schnellerem Pendeln jedoch, und zwar schon bei 0,167 Hz (entspricht der von uns benutzten Umdrehungsgeschwindigkeit von  $60^{\circ}/\text{sec.}$ ) zeigte die nystagmographische Kurve vorwiegend Rucke in der Richtung der Deviation, soweit sich das aus der ziemlich kleinformatigen Abbildung ablesen läßt. Dieses Kurvenbild ist das genaue Analogon der von uns in der Versuchsserie mit Aufforderung zum Verfolgen der Töne fast konstant erhaltenen Reaktion.

Für die Erklärung der von uns registrierten Rucke in Richtung der Augendeviation schien sich die Tatsache anzubieten, daß wir mit unterbrochenen Tönen gereizt haben. Die Drehung ging ja während der Unterbrechungen weiter, so daß die Augen zusätzlich zur gleitenden Folgebewegung auch ihre "Feineinstellung" ständig korrigieren mußten. Diese Erklärung ist aber sicher nicht richtig, denn wir haben ganz entsprechende Kurven auch bei unseren Vorversuchen mit nicht unterbrochenen Sinustönen erhalten (Abb. V c). Außerdem war die Größe der Auslenkung bei den Rucken von einem Probanden zum anderen ganz unterschiedlich (Abb. I, III).

Die Ergebnisse von TRINCKER und Mitarbeitern entsprechen insofern den unsrigen bei akustischer Reizung nicht ganz, als wir auch bei Folgebewegungen einen erheblichen Ruckanteil registriert haben. Vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der Optokinetik haben hier die neuen Arbeiten von LÜDKE sowie LÜCKING gebracht (Zit. bei KORNHUBER).

LÜDKE fand nämlich bei sinusförmiger Reizung auch bei den Folgebewegungen der Augen einen Ruckanteil, nicht wie TRINCKER und Mitarbeiter nur beim Blick geradeaus. Bei großem opto-

kinetischem Reizfeld (ganzes Gesichtsfeld ausgefüllt) und einer Bewegungsamplitude von  $20^\circ$  kann der Blick dem pendelnden Reiz ab Frequenzen von 0,8/sec. nicht mehr glatt folgen. Bei 1,0/sec. liegt der Ruckanteil schon bei 35 % der Amplituden der Augenbewegung. Bei größerer Bewegungsamplitude (und kleinflächigerem Reiz) wird nach LÜCKING schon bei niedrigeren Frequenzen ein Ruckanteil an der Gesamtamplitude nachweisbar. Bei unserer rotierenden akustischen Stimulation, die gleichfalls eine pendelnde Folgebewegung der Augen auslöst, war die Bewegungsamplitude ja noch sehr viel größer als bei den bisher bekannten Versuchen mit sinusförmiger optokinetischer Reizung. Sofern ein Analogieschluß erlaubt wäre, würde das Auftreten von Rucken schon bei niedrigerer Tonbewegungsfrequenz (0,167/sec., entsprechend der Dauer einer Umdrehung von 6 sec.), auch für die Folgebewegung so erklärbar sein.

Während ein optokinetischer Nystagmus bei unseren sämtlichen 30 Versuchen durch Augenöffnen während der Drehung auslösbar war und jeweils den gleichen typischen Ablauf zeigte, waren die Augenbewegungen durch die akustischen Reize nicht mit der gleichen Zuverlässigkeit hervorzurufen und zeigten darüber hinaus starke Variationen in Ablauf und Stärke. Bei denjenigen Probanden, die vorher nicht auf die Töne aufmerksam gemacht worden waren, lag die Quote völliger Versager bei 5 von 30. Durchgehender Nystagmus war sogar nur in 9 von 30 Versuchen zu registrieren.

Rotierende Sinustöne sind also weder als Dauertöne (Ergebnis von Vorversuchen 1962) noch als unterbrochene Reize geeignet, regelmäßig (und reproduzierbar) reaktive Augenbewegungen auszulösen. Dieses Ergebnis steht in Widerspruch zu der von GÜTTICH geäußerten Ansicht, es bestehe für uns alle fast ein Zwang, uns einer Schallquelle zuzuwenden, auch dann, wenn sie uns nur unzumutbare Eindrücke vermittele. Hinwendung zur Schallquelle bedeutet ja für unsere Versuchsanordnung Hinwendung der Augen, da der Kopf fixiert ist. Sicher vorhanden ist eine Art Zwang zur Lokalisierung von Schallreizen indes

bei kleinen Kindern ab dem zweiten Lebenshalbjahr. Das Umdrehen zur Schallquelle wird hier sogar für die Hörprüfung genutzt (Screeningtests von EWING). Später scheint diese Verhaltenseigenart - das schließen wir jedenfalls aus dem Ergebnis unserer Versuche - teilweise wieder verloren-zugehen.

Untersuchungen wie die von uns durchgeführten schienen zunächst grundsätzlich geeignet, zu einer Methodik der objektiven Höruntersuchung ausgebaut zu werden. Unsere Ergebnisse waren in dieser Richtung sehr entmutigend. Für die Erwachsenenhörprüfung (Simulationsproben) wäre eine im Ergebnis so unzuverlässige Untersuchung anderen objektiven Methoden (KOTTMEYER) weit unterlegen, da ein negativer Ausfall überhaupt nichts aussagen würde. Eine endgültige Beurteilung der Brauchbarkeit der akustisch auslösbaren Augenbewegungen für die Hördiagnostik wird erst möglich sein, wenn Versuche mit schwelennahen Tönen und solche mit Ausschaltung eines Ohres vorliegen. Wir werden unsere Ergebnisse dieser Reihe in einer späteren Arbeit vorlegen. Für die Kinderaudiometrie hat HENNEBERT gute Erfahrungen mit dem audiokinetischen Nystagmus mitgeteilt. Unsere Versuchsanordnung eignet sich dafür nicht, da man kleine Kinder nicht dazu bringen kann, die Augen zwecks Ausschaltung der optokinetischen Reaktion während der Drehung geschlossen zu halten.

Die optokinetische Reaktion der Augen ist viel stärker als die von uns gefundene akustische. Sie ist auch stärker als der vestibuläre Nystagmus (abgesehen von extrem starken Vestibularisreizen), "den sie mit der überlegenen Stärke überdeckt, die ein optischer Reflex bei Wesen mit frontal gestellten Augen zu haben pflegt" (KLESTADT). Abgesehen von diesem Unterschied in der Stärke von Reiz und Reaktion haben Optokinetik und "Audiokinetik" viel Gemeinsames.

In beiden Fällen werden die Augenbewegungen durch gleichmäßig bewegte Sinnesreize ausgelöst und zeigen bei gleichartiger

(pendelnder) Reizung im Prinzip Übereinstimmung der Kurvenbilder. Darüber hinaus ist in beide Reaktionen das Bewußtsein in wechselndem Ausmaß eingeschaltet.

Bei der Untersuchung des optokinetischen Nystagmus ist eine gewisse Aufmerksamkeit des Probanden unentbehrlich (KLESTADT). "Interesse" und auswählende Wahrnehmungsvorgänge spielen mit und leiten zur willkürlichen Blickbewegung über (JUNG und MITTERMAIER). Der optokinetische Nystagmus ist im Gegensatz zum vestibulären durch willkürliche Blickintention stark beeinflusbar. Er läßt sich z.B. durch willkürliche Blickbewegungen in Richtung der raschen Phase bahnen (JUNG). Die Bahnung durch einen besonders "interessanten" Reiz ist durch die Hundeversuche von de KLEYN (Kaninchen auf rotierender Scheibe) gezeigt worden. - Andererseits läßt sich der optokinetische Nystagmus nach JUNG und MITTELMAYER hemmen durch

- a. Unaufmerksamkeit
- b. die optische Vorstellung eines stehenden Objektes
- c. willkürliche Fixation eines unbewegten Gegenstandes
- d. willkürliche Blickbewegung in Richtung der langsamen Phase.

Durch unsere Versuche ließ sich zeigen, daß diese lange bekannten Eigenheiten des optokinetischen Nystagmus im Prinzip auch für die audiokinetischen Augenbewegungen gelten.

So waren die Kurven bei von vorneherein interessierten Versuchspersonen fast durchweg deutlicher und typischer. Sinusförmige Augendeviationen kamen bei den Versuchen ohne Hinweis auf die Töne fast nur bei solchen Probanden vor.

Weiterhin entstanden die typischen audiokinetischen Augenbewegungen erst dann regelmäßig, wenn die Probanden die Töne mit den Augen aktiv verfolgten.

Andererseits waren bei Patienten mit Ermüdungserscheinungen (Pendeldeviationen) sowie absichtlich unaufmerksamen

(autosuggestive Ablenkung bei einem Kollegen) keinerlei Reaktionen der Augen zu erhalten. Der letzte Befund steht zu der Mitteilung von HENNEBERT in Widerspruch, daß der audiokinetische Nystagmus nur für 2 bis 3 Umdrehungen unterdrückbar sei und dann verstärkt neu einsetze. Für die Bedeutung des "interessanten" Reizes sind die Reaktionen des Säuglings und Kleinkindes ein schönes Beispiel.

Das Lokalisierungsbedürfnis für Schallereignisse, erkennbar am Umwenden zur Schallquelle, konnte nur für die Hördiagnostik ausgenutzt werden, indem kindgemäße, gewohnte Geräusche verwendet wurden (Papierrascheln, Reiben mit einem Löffel am Tassenboden usw.), da die Kleinen nur auf solche Reize zuverlässig reagierten.

Ein ganz entscheidender Unterschied zwischen Optokinetik und "Audiokinetik" ist aber offenkundig. Die Augenbewegungen, d.h. die sinusförmigen Folgebewegungen und der periodisch umschlagende Nystagmus setzen ein intaktes Richtungsgehör voraus. Man kann dem Schallreiz nur dann exakt mit den Augen folgen, wenn man imstande ist, ihn einwandfrei zu orten. Für das "Zeitliche Richtungsempfinden" (LANGENBECK) ist binaurales Hören erforderlich. Es ist also anzunehmen, daß die von uns registrierten systematischen Augenbewegungen auf kreisende Töne an ein beidohriges Hören gebunden sind. Wir wollen dieser Frage in einer späteren Arbeit noch nachgehen, indem wir die Versuche bei Ausschaltung eines Ohres wiederholen.

## Zusammenfassung =====

80 normalhörige erwachsene Versuchspersonen wurden während einer vestibulär indifferenten Eigendrehung und bei geschlossenen Augen aus Ohrhöhe mit unterbrochenen Sinustönen der Frequenzen 250, 500, 1000 und 2000 Hz stark überschwellig beschallt.

Fast immer entstand dabei die Empfindung einer Rotation der Schallquelle. Gleichzeitig ließen sich elektronystagmographisch Augenbewegungen registrieren, die nach Form und Ablauf als durch die kreisenden akustischen Reize bedingt gelten mußten.

Bei unvorbereiteten Probanden traten die Augenbewegungen nicht konstant auf. Erst nach Bahnung durch aktive Blickwendung im Sinne eines Verfolgens der kreisenden Töne waren sie fast immer nachweisbar, im Ablauf eindeutig und reproduzierbar.

Der bewegte akustische Reiz allein ist zu schwach, um zwangsläufig Augenbewegungen auszulösen. Entsprechende Untersuchungen scheinen sich also für objektive Hörtests nicht zu eignen.

Die registrierbaren "audiokinetischen" Augenbewegungen bestanden aus sinusförmigen Augendeviationen und Rucken. Letztere wurden, als einzelne Spähbewegungen beobachtet, häufiger aber als für die Beschallungsdauer durchgehender Nystagmus mit periodischem Richtungswechsel. Dieser Nystagmus war teilweise die einzige Reaktion. Häufiger erschien er jedoch auf die Augendeviationen aufgepfropft.

Die nystagmographischen Kurven entsprachen weitgehend denen, die man bei sinusförmiger optokinetischer Reizung erhält.

Die vestibuläre Genese der durch rotierende akustische

Reize ausgelösten Augenbewegungen wird abgelehnt, die Verwandtschaft mit dem optokinetischen Nystagmus aufgezeigt.

Die Auslösbarkeit zeitlich synchron ablaufender Augenbewegungen auf rotierende akustische Reize dürfte von einem intakten (binauralen) Richtungsgehör abhängig sein.

# L i t e r a t u r

=====

- ADAMS, A. Elektronystagmographische Untersuchungen über die optisch- vestibuläre Integration von Bewegung und Wahrnehmung. Pflügers Arch. ges. Physiol. 269, 344 (1959)
- BARTUALPASTOR, J. u. H.-J. BORUCKI Experimentelle Untersuchungen über die gleichzeitige Einwirkung akustischer und vestibulärer Reize beim Menschen. Arch. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.heilk. 184, 419 (1965)
- DODGE, R. Thresholds of rotation. J. exper. Psychol. 6, 107 (1923)  
Adequacy of reflex compensatory eye-movements including the effects of neural rivalry and competition. J. exper. Psychol. 6, 169 (1923)
- EWING, I.R. a. A.W.G. EWING New opportunities for deaf children. Ch. C. Thomas, Springfield (Ill.) 1958
- GANZ, H. unveröffentlichte Versuche 1962
- GRÜTNER, R. Experimentelle Untersuchungen über den optokinetischen Nystagmus. Z. Sinnesphysiol. 68, 1 (1939)
- GÜTTICH, A. Neurologie des Ohrlabyrinthes. Gg. Thieme, Leipzig 1944
- HEINEBERT, P.E. Nystagmus audiocinétique. Acta oto-laryng. (Stockh.) 51, 412 (1960)
- HORNBOSTEL, E.M.v. Das räumliche Hören. Handb. norm.path.Physiol. hersg. von BETHE/v.BERGMANN/EMBDEN/ELLINGER. XI, Receptionsorgane I. S. 602. J. Springer, Berlin 1926
- JONGKEES, L.B.W. Olfactory Nystagmus. Acta oto-laryng. (Stockh.) 44, 556 (1954)

- JUNG, R. Die Registrierung des postrotatorischen und optokinetischen Nystagmus und die optisch-vestibuläre Integration beim Menschen. Acta oto-laryng. (Stockh.) 36, 199 (1947)
- Neurophysiologische Untersuchungsmethoden.  
Handb. Inn.Med., hersg. von v.BERGMANN/  
W.FREY/SCHWIEGK, V/1, S.1206,  
Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg  
1953
- JUNG, R. u. R. MITTERMAIER Zur objektiven Registrierung und Analyse verschiedener Nystagmusformen : Vestibulärer, optokinetischer und spontaner Nystagmus in ihren Wechselbeziehungen. Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.heilk. 146, 410 (1939)
- JUNG, R. u. J.F.TÖNNIES Die Registrierung und Auswertung des Drehnystagmus beim Menschen. Klin. Wschr. 1948 II, 513.
- KLESTADT, W. Symptomatologie der Erkrankungen des N. VIII einschließlich Leitung im Hirnstamm. Handb. Neurol. hersg. von BUMKE/  
FOERSTER. IV, S. 501  
Springer, Berlin 1936
- KLEYN, A. de Corticale en subcorticale optokinetische Nystagmus. Ned. T. Geneesk. 84, 1859 (1940)
- KORNHUBER, H. Physiologie und Klinik des zentral-vestibulären Systems (Blick- und Stützmotorik). Handb. HNO-Heilk. hersg.von BERENDES/  
LINK/ZÖLLNER. III/3, S. 2150.  
Gg. Thieme, Stuttgart 1966
- KOTTMEYER, G. Plethysmographische Untersuchungen nach schwelennahen sensorischen und sensiblen Reizen. Arch. Ohren- usw. Heilk. u. Z. Hals- usw. Heilk. 177, 297 (1961)

- LANGENBECK, B. u. H.-J. OPITZ Richtungshören zur klinischen Diagnostik und Begutachtung. Arch. Ohren- usw. Heilk. u. Z. Hals-usw. Heilk. 180, 732 (1962)
- LÜCKING, C.H. Die Folgebewegungen der Augen bei Gesunden und hirnerkrankten Personen. Med. Diss. Freiburg i.Br. 1963.
- LÜDKE, H.W. Der optokinetische Frequenzgang des Menschen bei Flächenreiz, Punktreiz und Zentralskotom. Med. Diss. Freiburg i.Br. 1966.
- MATZKER, J. u. H. WELKER Die Prüfung des Richtungshörens zum Nachweis und zur topischen Diagnostik von Hirnerkrankungen. Z. Laryng. Rhinol. 38, 277 (1959)
- MIANI, P. e F. PIRAGINE Nistagmo olfattocinetico del capo. Ricerche sperimentali sul cane. Clin. oto-rino-laring. 12, 192 (1960)
- TOMNDORF, J. Eine akustisch ausgelöste Vestibularis-Reaktion. Klin. Wschr. 26, 149 (1948)
- TRIMCKER, D., J. SIEBER u. J. BARTUAL Schwingungsanalyse der vestibulär, optokinetisch und durch elektrische Reizung ausgelösten Augenbewegungen beim Menschen I. Stetige Augenbewegungen. Frequenzgänge und Ortskurven. Kybernetik 1, 21 (1961)
- WOLETZ, F. Quantitative Untersuchungen über den postrotatorischen Nystagmus I. Z. Hals- Nasen- u. Ohrenheilk. 33, 476, (1933)

## ABBILDUNG I :

Registrierung audiokinetischer Augenbewegungen auf unterbrochene Sinustöne während vestibulär indifferenter Eigendrehung der Versuchsperson.

a und c) Oberste Kurve : Markierung der Umdrehungen

Mittlere Kurve : vertikale Ableitung

Untere Kurve : horizontale Ableitung

60 dB Ton, Umdrehungsgeschw.  $60^{\circ}/\text{sec.}$ , Papiervorschub  $10 \text{ mm/sec.}$  Eichung  $5^{\circ} = 5 \text{ mm.}$

b) Nur horizontale Ableitung.

45 dB Ton, Umdrehungsgeschw.  $90^{\circ}/\text{sec.}$ , Papiervorschub  $25 \text{ mm/sec.}$  (Vorversuch 1962)

Zu a) sehr deutlicher feinschlägiger audiokinetischer Nystagmus während Beschallung mit unterbrochenem 1000 Hz-Ton, teilweise mit Augendeviation. Richtungsänderung von Deviation und Nystagmus synchron der Umdrehungsgeschwindigkeit. Proband war zum Verfolgen der Töne aufgefordert.

Zu b) Grobschlägiger audiokinetischer Nystagmus ohne Deviationen während 1000 Hz-Ton, synchron zur Umdrehungsgeschwindigkeit Richtungswechsel (eine Umdrehung hier =  $10 \text{ cm !}$ ). Allgemeiner Hinweis auf die Töne.

Zu c) schwach ausgebildeter, aber synchron ablaufender audiokinetischer Nystagmus während 500 Hz-Ton, keine Deviationen (untere Kurve). Kein Hinweis auf die Töne.

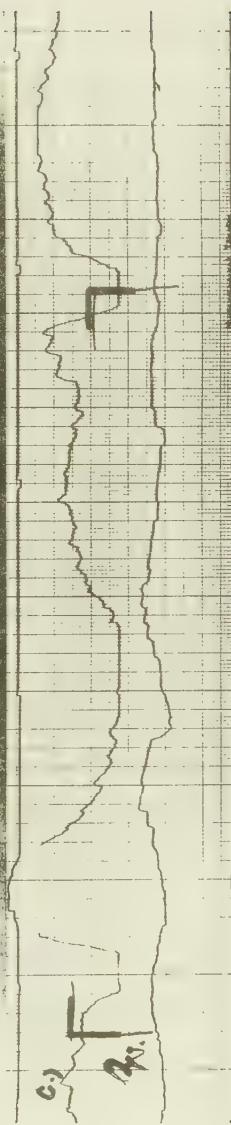
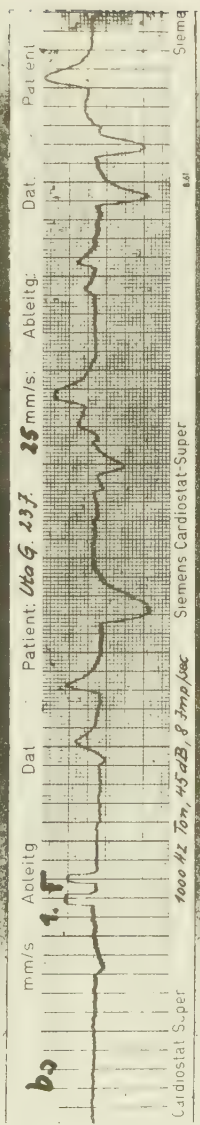
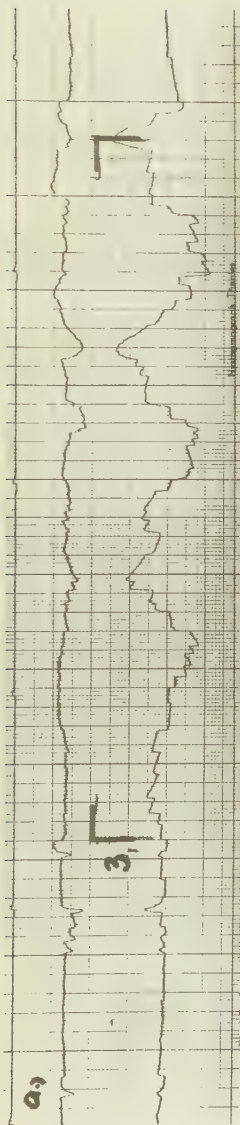


ABBILDUNG II : Dem zeitlichen Ablauf der Eigendrehung nicht synchron ablaufende Augen-  
 deviationen und Rucke bei drei Versuchspersonen während der Beschallung.  
 a) Kreisbewegung des Tons erkannt, trotzdem keine zeitliche Kongruenz.  
 Rucke und Deviationen (Kurve 1). - Kreisbewegung nicht erkannt beim  
 2000 Hz-Ton, nur anfangs zeitliche Übereinstimmung (Kurve 4).  
 b) Kreisbewegung angeblich erkannt. Nystagmusschläge und Gegenrucke,  
 kein typischer Ablauf.

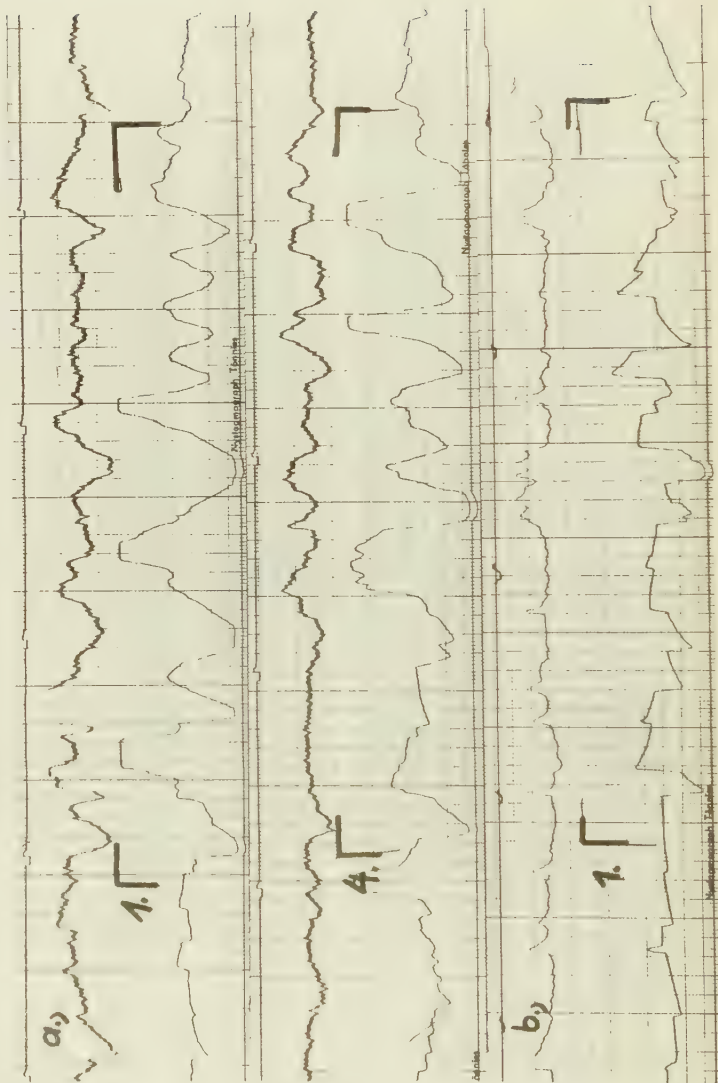


ABBILDUNG III : Gegenüberstellung der audiokinetischen Reaktion (mit groben Rücken bei Aufforderung zum Verfolgen der Töne), des während der Drehung abgeleiteten optokinetischen Nystagmus sowie des Nystagmus postrotatorius I beim gleichen Probanden. Relativ schwache vestibuläre Reaktion.

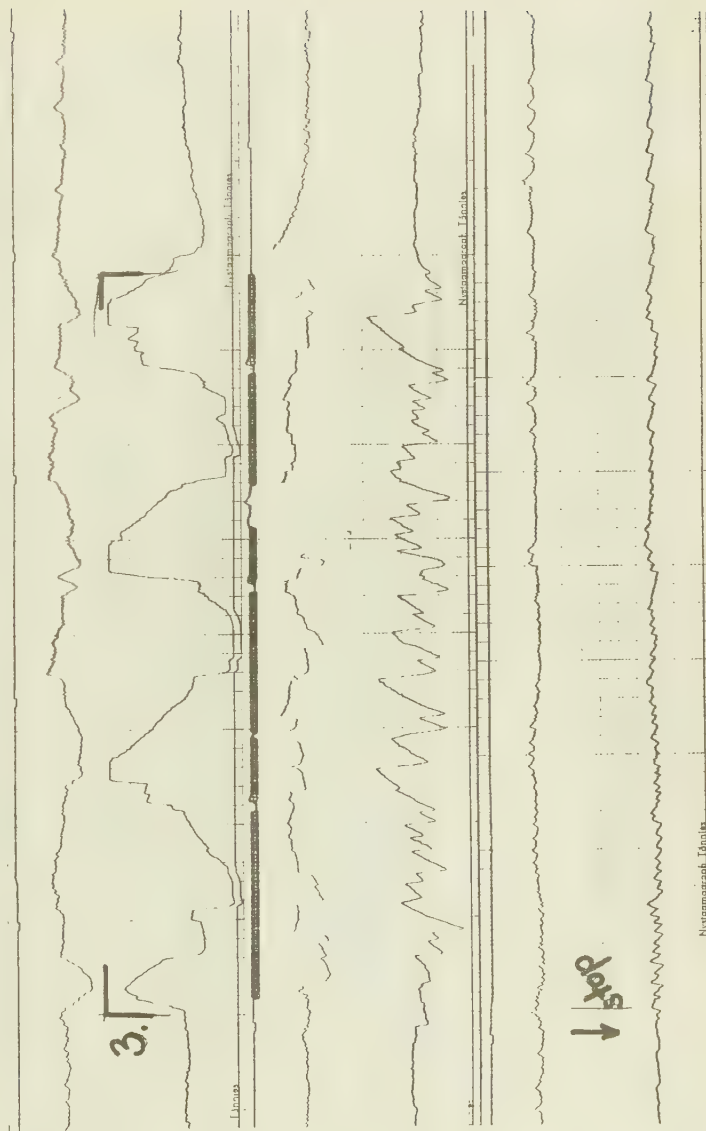


ABBILDUNG IV : Ungewollte Folgebewegungen der Augen mit Rucken, wohl durch Geräusch des Nystagmographen ausgelöst. Nach Belehrung der Versuchsperson Beruhigung der Kurve, anschließende positive Reaktion auf den ersten Prüftön.

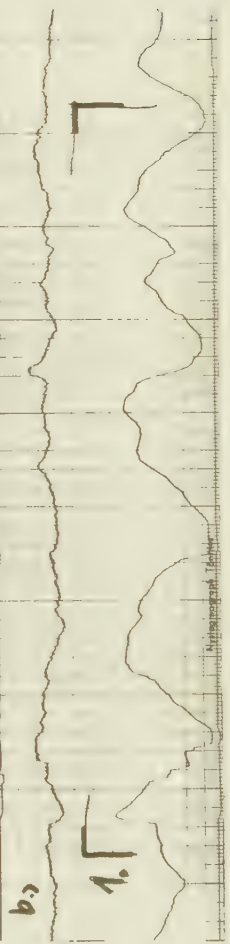


- ABBILDUNG V : a) Ermüdungserscheinungen während des Tests. Aufhören der kleinen Pendeldeviationen mit Einsetzen des ersten Tons, Wiederauftreten nach Ende des Tons. Der zweite Ton beeinflusst die Deviationen nicht mehr, bis auf einige ganz feine Rucke beim Einsetzen.
- b) Praktisch ruckfreie Deviationen beim Verfolgen eines 250 Hz-Tons.
- c) Deviationen mit Rucken bei Beschallung mit 1000 Hz-Dauerton.  
Siehe Abbildung I b.

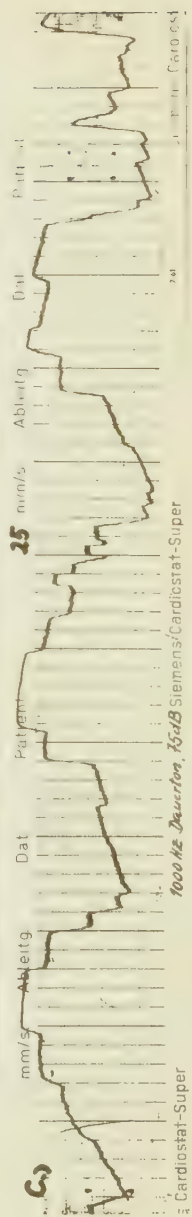
a)



b)



c)



Cardiostat-Super

1000 Hz Daewon, 754/B Siemens/Cardiostat-Super

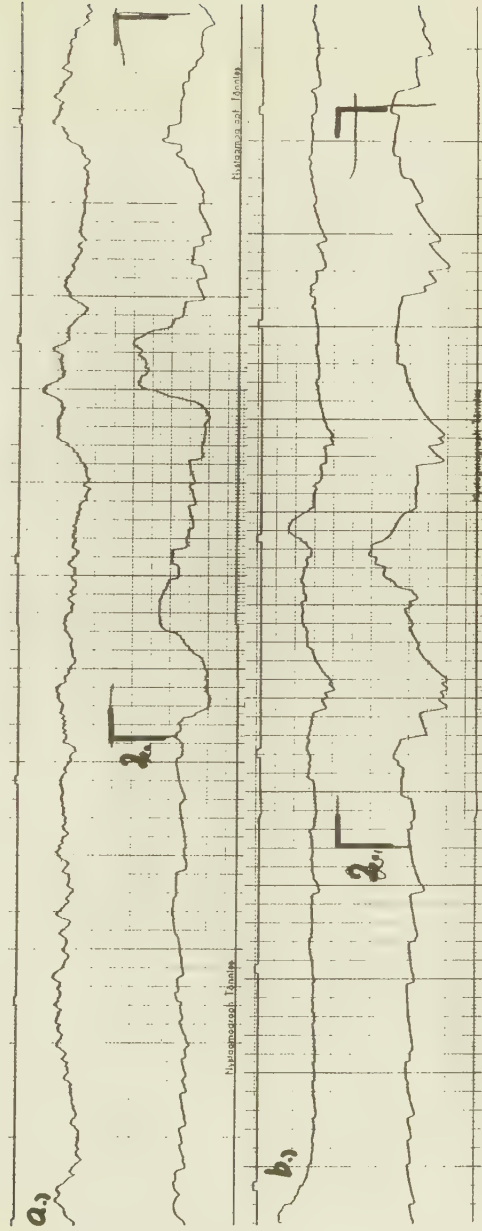
2.40

2.40 0.45

ABBILDUNG VI : Beeinflussung der audiokinetischen Reaktion durch einen perrotatorischen Nystagmus. Kein Hinweis auf Verfolgen der Prüftöne.

a) zahlreiche Schläge in der Richtung des perrotatorischen Nystagmus, einzelne grobe Rucke in der Gegenrichtung.

b) keine deutliche Beeinflussung des audiokinetischen Nystagmus.



Ich danke Herrn Oberarzt Dr. Ganz für  
die Themenstellung und die Zeit und  
Mühe, die er auf die Arbeit verwandt  
hat.

Herrn Prof. Dr. Berendes gebührt mein  
Dank für die freundliche Übernahme des  
Correferats.

## LEBENS LAUF

Ich, Jochen Fend, wurde am 4. Juli 1940 in Greiz/Thüringen als Sohn des Hals-Nasen-Ohren-Arztes Dr. med. Kurt Fend und seiner Ehefrau Hedi geb. Wurm geboren.

Von 1946 bis 1953 besuchte ich die Greizer Volksschule. Nach der Flucht unserer Familie aus Mitteldeutschland, die aus politischen Gründen notwendig wurde, besuchte ich von Ostern 1953 bis Ostern 1954 die Mittelschule in Witzenhausen/Werra und kam dann auf das Fürst Johann Moritz-Gymnasium in Hüttental-Weidenau, wo ich Ostern 1960 die Reifeprüfung bestand. Ich studierte vom Sommersemester 1960 bis zum Sommersemester 1961 in Marburg Kunstgeschichte, wechselte dann die Fakultät und studierte ab Wintersemester 1961/62 in Mainz Medizin.

Nach der Ärztlichen Vorprüfung ging ich im Sommersemester 1964 wieder nach Marburg, wo ich am 3. August 1967 das Staatsexamen bestand.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren  
und Dozenten

in Mainz: Bässler, Berthold, Dabelow, Franzen, Höhn,  
Kern, Klages, Kollath, Lang, Langendorf,  
Mislin, Müller, Schriever, Siebert,  
Strassmann, Watzka;

in Marburg: Beckmann, Berendes, Bickel, Bommer, Braun-  
Falco, Buchholz, Deicher, Dittrich, Dölle,  
du Mesnil, Exner, Ganz, Graul, Gedigk, Hamm,  
Hardewig, Hartmann, Hess, Heuser, Hildebrandt,  
Hundshagen, Jacob, Knauff, Lang, Linneweh,  
Löhr, Lübbers, Mann, Martini, Marx, Neubauer,  
Nocke, Oehmig, Petzold, Rodeck, Rohen,  
Salfeld, Sauer, Schermuly, Schiff, Schleyer,  
Schlosser, Schmid, Schneider, Schrappe,  
Schürmann, Schwaiger, Siegert, Spiegelberg,  
Staib, Straub, Streicher, Strohmeyer, Werner,  
Würterle.



